



Universidad Autónoma Chapingo
Dpto. de Preparatoria Agrícola
Área de Física



Física II

“Efecto Doppler”

Diciembre del 2021





El efecto Doppler es un cambio que ocurre en la frecuencia de una onda cuando la fuente que produce las ondas y el observador que las registra se mueven uno con respecto del otro.

El efecto Doppler se hace patente cuando un auto pasa cerca de nosotros haciendo sonar la bocina.

Cuando se acerca, el tono del sonido es más alto que lo normal.

Esto se debe a que las crestas de las ondas sonoras llegan al observador con mayor frecuencia.

Cuando un auto se aleja, el sonido se hace más grave porque las crestas de las ondas llegan al observador con menor frecuencia.





La policía usa el efecto Doppler de las ondas de radar para determinar la rapidez de un auto.

Las ondas de radar son ondas electromagnéticas de menor frecuencia que las ondas de luz y de mayor frecuencia que las ondas de radio.

El sistema de radar de los autos de la policía las hace rebotar sobre un auto en movimiento y el computador calcula la rapidez del auto respecto a la unidad de radar comparando la frecuencia de las ondas emitidas con la frecuencia de las ondas reflejadas.



La luz también está sujeta al efecto Doppler. Cuando una fuente de luz se aproxima aumenta su frecuencia y cuando se aleja, disminuye.

El aumento en la frecuencia se llama desplazamiento hacia el azul porque la frecuencia se desplaza hacia la región de altas frecuencias del espectro de la luz visible, que corresponde con el color azul.

La disminución de la frecuencia se llama desplazamiento hacia el rojo porque la frecuencia se desplaza hacia el extremo de bajas frecuencias del espectro, correspondiente al color rojo.

Como la luz de las galaxias muestra un desplazamiento hacia el rojo, indicando que las galaxias se alejan de nosotros.

Midiendo el desplazamiento se puede calcular la rapidez con que se alejan las galaxias.



La frecuencia de una onda cuando la fuente que produce las ondas y el observador que las registra se mueven uno con respecto del otro, se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Donde:

f'

Es la frecuencia de la onda registrada por el receptor.

f

Es la frecuencia de la onda producida por el emisor.

v

Es la velocidad de la onda.

v_0

Es la velocidad del receptor.

v_s

Es la velocidad del emisor o fuente.



Convención de signos:

Si el receptor o el observador se acerca, entonces $v_o > 0$.

Si el receptor o el observador se aleja, entonces $v_o < 0$.

Si el receptor o el observador está en reposo, entonces $v_o = 0$.

Si la fuente o el emisor se acerca, entonces $v_s > 0$.

Si la fuente o el emisor se aleja, entonces $v_s < 0$.

Si la fuente o el emisor está en reposo, entonces $v_s = 0$.



Ejemplo: Una locomotora que se mueve a 30 m/s se aproxima a una persona que se encuentra parada a un lado de la vía. Su silbato emite un sonido cuya velocidad es de 340 m/s con un tono de frecuencia de 2 kHz. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima el tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 0$

y $v_s = 30 \text{ m/s}$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2193.54 \text{ Hz} = 2.19354 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la locomotora se acerca.



Ejercicio: Una locomotora que se mueve a 60 m/s se aproxima a una persona que se encuentra parada a un lado de la vía. Su silbato emite un sonido cuya velocidad es de 340 m/s con un tono de frecuencia de 1.2 kHz. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima el tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 1.2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 0$

y $v_s = 60 \text{ m/s}$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (1.2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1\,457.14 \text{ Hz} = 1.45714 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la locomotora se acerca.



Ejemplo: una locomotora que se mueve a 30 m/s se aleja de una persona que se encuentra parada a un lado de la vía. Su silbato emite un sonido cuya velocidad es de 340 m/s con un tono de frecuencia de 2 kHz. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aleja el tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 0$

y $v_s = -30 \text{ m/s}$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - (-30 \frac{\text{m}}{\text{s}})} = 1\,837.84 \text{ Hz} = 1.83784 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es menor que la frecuencia del sonido original debido a que la locomotora se aleja.



Ejercicio: una locomotora que se mueve a 60 m/s se aleja de una persona que se encuentra parada a un lado de la vía. Su silbato emite un sonido cuya velocidad es de 340 m/s con un tono de frecuencia de 1.2 kHz. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aleja el tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 1.2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 0$

y $v_s = -60 \text{ m/s}$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (1.2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - (-60 \frac{\text{m}}{\text{s}})} = 1\,020.00 \text{ Hz} = 1.02 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la locomotora se aleja.



Ejemplo: una locomotora en reposo emite un sonido con velocidad de 340 m/s y con frecuencia de 2 kHz. Una persona se mueve hacia la locomotora con una velocidad de 30 m/s. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima al tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 30 \text{ m/s}$

y $v_s = 0$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0} = 2176.47 \text{ Hz} = 2.17647 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la persona se acerca.



Ejercicio: una locomotora en reposo emite un sonido con velocidad de 340 m/s y con frecuencia de 1.2 kHz. Una persona se mueve hacia la locomotora con una velocidad de 60 m/s. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima al tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 1.2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = 60 \text{ m/s}$

y $v_s = 0$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (1.2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0} = 1\,411.76 \text{ Hz} = 1.41176 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la persona se acerca.



Ejemplo: una locomotora en reposo emite un sonido con velocidad de 340 m/s y con frecuencia de 2 kHz. Una persona se aleja de la locomotora con una velocidad de 30 m/s. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aleja del tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = -30 \text{ m/s}$

y $v_s = 0$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0} = 1\,823.529 \text{ Hz} = 1.823529 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la persona se aleja.



Ejemplo: una locomotora en reposo emite un sonido con velocidad de 340 m/s y con frecuencia de 1.2 kHz. Una persona se aleja de la locomotora con una velocidad de 60 m/s. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima al tren?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 1.2 \text{ kHz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_0 = -60 \text{ m/s}$

y $v_s = 0$

Sustituyendo, se tiene:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s} = (1.2 \text{ kHz}) \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0} = 988.23 \text{ Hz} = 0.98823 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido de la locomotora que escucha la persona es mayor que la frecuencia del sonido original debido a que la persona se aleja.



Ejemplo: una fuente en reposo emite ondas que se propagan con velocidad de 180 m/s. Un observador se separa de la fuente a 10 m/s y registra una frecuencia de 10 000 Hz ¿Qué frecuencia tiene la onda emitida?

Solución:

Los datos del problema son: $f' = 10 \text{ kHz}$, $v = 180 \text{ m/s}$, $v_0 = -10 \text{ m/s}$
y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$f = f' \frac{v - v_s}{v + v_0} = 10 \text{ kHz} \frac{180 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0}{180 \frac{\text{m}}{\text{s}} + \left(-10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} = 10 \text{ kHz} \frac{180 \text{ m/s}}{170 \text{ m/s}} = 10 588.24 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido que produce la fuente es mayor que la frecuencia del sonido que escucha el observador debido a que se aleja.



Ejercicio: una fuente en reposo emite ondas que se propagan con velocidad de 200 m/s. Un observador se separa de la fuente a 20 m/s y registra una frecuencia de 30 000 Hz ¿Qué frecuencia tiene la onda emitida?

Solución:

Los datos del problema son: $f' = 30 \text{ kHz}$, $v = 200 \text{ m/s}$, $v_0 = -20 \text{ m/s}$
y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$f = f' \frac{v - v_s}{v + v_0} = 30 \text{ kHz} \frac{200 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0}{200 \frac{\text{m}}{\text{s}} + \left(-20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} = 30 \text{ kHz} \frac{200 \text{ m/s}}{180 \text{ m/s}} = 33.333 \text{ kHz}$$

Como se observa, la frecuencia del sonido que produce la fuente es mayor que la frecuencia del sonido que escucha el observador debido a que se aleja.



Ejemplo: una fuente en reposo emite una onda cuya frecuencia es de 1 000 Hz. Si un observador que se acerca con una velocidad de 40 m/s, registra la onda con una frecuencia de 1 100 Hz, ¿Cuál es la velocidad de la onda emitida por la fuente?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 1\,000\text{ Hz}$, $f' = 1\,100\text{ Hz}$, $v_0 = 40\text{ m/s}$
y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$v = \frac{f v_0 + f' v_s}{f' - f} = \frac{(1\,000\text{ Hz}) \left(40 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (1\,100\text{ Hz})(0)}{1\,100\text{ Hz} - 1\,000\text{ Hz}} = 400\text{ m/s}$$

Como se observa, la rapidez de la onda es ser mayor que la velocidad con la que se mueve el observador. Aunque no siempre es así.



Ejercicio: una fuente en reposo emite una onda cuya frecuencia es de 2 000 Hz. Si un observador que se acerca con una velocidad de 60 m/s, registra la onda con una frecuencia de 2 400 Hz, ¿Cuál es la velocidad de la onda emitida por la fuente?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2\,000\text{ Hz}$, $f' = 2\,400\text{ Hz}$, $v_0 = 60\text{ m/s}$

y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$v = \frac{f v_0 + f' v_s}{f' - f} = \frac{(2\,000\text{ Hz}) \left(60 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (2\,400\text{ Hz})(0)}{2\,400\text{ Hz} - 2\,000\text{ Hz}} = 300\text{ m/s}$$

Como se observa, la rapidez de la onda es ser mayor que la velocidad con la que se mueve el observador. Aunque no siempre es así.



Ejemplo: una fuente en reposo emite una onda cuya frecuencia es de 3 000 Hz. Si un observador que se aleja con una velocidad de 50 m/s, registra la onda con una frecuencia de 2 800 Hz, ¿Cuál es la velocidad de la onda emitida por la fuente?

Solución:

Los datos del problema son: $f = 3\,000\text{ Hz}$, $f' = 2\,800\text{ Hz}$, $v_0 = -50\text{ m/s}$

y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$v = \frac{f v_0 + f' v_s}{f' - f} = \frac{(3\,000\text{ Hz}) \left(-50 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (2\,800\text{ Hz})(0)}{2\,800\text{ Hz} - 3\,000\text{ Hz}} = 750\text{ m/s}$$

Como se observa, la rapidez de la onda es ser mayor que la velocidad con la que se mueve el observador. Aunque no siempre es así.



Ejemplo: un observador registra un sonido cuya frecuencia es de 2 100 Hz. Si la frecuencia del sonido emitido por la fuente es de 2 000 Hz y la fuente está en reposo, ¿cuál es la rapidez con la que se mueve el observador? La velocidad del sonido es de 340 m/s.

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2\,000\text{ Hz}$, $f' = 2\,100\text{ Hz}$, $v = 340\text{ m/s}$

y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$v_0 = \frac{f'(v - v_s) - fv}{f} = \frac{(2\,100\text{ Hz}) \left(340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0\right) - (2\,000\text{ Hz}) \left(340 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{2\,000\text{ Hz}} = 17\text{ m/s}$$

Como se observa, la rapidez del observador es mayor que cero porque el observador registra una frecuencia mayor.



Ejercicio: un observador registra un sonido cuya frecuencia es de 2 500 Hz. Si la frecuencia del sonido emitido por la fuente es de 2 200 Hz y la fuente está en reposo, ¿cuál es la rapidez con la que se mueve el observador? La velocidad del sonido es de 340 m/s.

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2\,200\text{ Hz}$, $f' = 2\,500\text{ Hz}$, $v = 340\text{ m/s}$

y $v_s = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{f'(v - v_s) - fv}{f} = \frac{(2\,500\text{ Hz}) \left(340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0\right) - (2\,200\text{ Hz}) \left(340 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{2\,200\text{ Hz}} \\ &= 46.36\text{ m/s} \end{aligned}$$

Como se observa, la rapidez del observador es mayor que cero porque el observador registra una frecuencia mayor.



Ejemplo: un observador registra un sonido cuya frecuencia es de 2 500 Hz. Si la frecuencia del sonido emitido por la fuente es de 2 300 Hz y el observador está en reposo, ¿cuál es la rapidez con la que se mueve la fuente? La velocidad del sonido es de 340 m/s.

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2\,300\text{ Hz}$, $f' = 2\,500\text{ Hz}$, $v = 340\text{ m/s}$

y $v_0 = 0$

La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$v_s = \frac{f'v - f(v + v_0)}{f'} = \frac{(2\,500\text{ Hz}) \left(340 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) - (2\,300\text{ Hz}) \left(340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0\right)}{2\,500\text{ Hz}} = 27.2\text{ m/s}$$

Como se observa, la rapidez de la fuente es mayor que cero porque el observador registra una frecuencia mayor.



Ejercicio: un observador registra un sonido cuya frecuencia es de 3 000 Hz. Si la frecuencia del sonido emitido por la fuente es de 2 500 Hz y el observador está en reposo, ¿cuál es la rapidez con la que se mueve la fuente? La velocidad del sonido es de 340 m/s.

Solución:

Los datos del problema son: $f = 2\,300\text{ Hz}$, $f' = 2\,500\text{ Hz}$, $v = 340\text{ m/s}$

y $v_0 = 0$

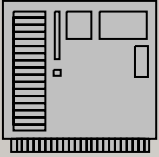
La fórmula para calcular la frecuencia de la onda que escucha el receptor:

$$f' = f \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

Despejando y sustituyendo, se tiene:

$$v_s = \frac{f'v - f(v + v_0)}{f'} = \frac{(3\,000\text{ Hz}) \left(340\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) - (2\,500\text{ Hz}) \left(340\frac{\text{m}}{\text{s}} - 0\right)}{3\,000\text{ Hz}} = 56.66\text{ m/s}$$

Como se observa, la rapidez de la fuente es mayor que cero porque el observador registra una frecuencia mayor.



Atentamente:

Dr. Guillermo Becerra Córdova

Página: <http://virtual.chapingo.mx/fis>